

Emissões de partículas de *black carbon* (fuligem) ao redor de escolas urbanas de Londrina

Emissions of black carbon particles around urban schools in Londrina

Camila Couto da Costa¹, Admir Crésó Targino²

RESUMO

O *Black carbon* (BC) —partícula proveniente de processos de combustão— é um dos principais poluentes atmosféricos urbanos. Exposição a longo prazo ao BC representa grande risco à saúde infantil. Este estudo analisou as emissões de BC provenientes de fontes poluidoras ao redor de diferentes modalidades de escolas do município de Londrina: infantil, fundamental, infantil e fundamental, entre outras. Utilizaram-se um inventário de emissão de BC, variáveis socioeconômicas e de uso do solo dentro de um raio de 500 m ao redor de cada escola com o intuito de extrair relações entre elas. A menor e a maior emissão média de BC foram próximas às escolas de ensino infantil pública e ensinos médio/ profissional privadas, respectivamente. As escolas públicas foram menos afetadas pelas emissões de BC em relação às escolas privadas, sendo explicado por a) uma maior densidade de escolas privadas em regiões influenciadas por rodovias e pizzarias —fontes que contribuíram mais para as emissões— b) localização em áreas com maiores rendas e menos lotes vazios, os quais mostraram influenciar positivamente e negativamente as exposições, respectivamente. **PALAVRAS-CHAVE:** *Black carbon*; Emissões; Escolas; Exposição.

ABSTRACT

Black carbon (BC) —a particle resulting from combustion processes— is one of the main urban atmospheric pollutants. Long-term exposure to BC poses a significant risk to children's health. This study analyzed BC emissions from polluting sources around various types of schools in the municipality of Londrina: preschool, primary, preschool and primary combined, among others. A BC emission inventory, socioeconomic variables, and land use within a 500-meter radius of each school were used to extract relationships between them. The lowest and highest average BC emissions were near public preschools and private high school/technical schools, respectively. Public schools were less affected by BC emissions compared to private schools, explained by a) a higher density of private schools in regions influenced by highways and pizzerias —sources that contributed more to emissions— b) their location in areas with higher incomes and fewer vacant lots, which were shown to positively and negatively influence exposures, respectively.

KEYWORDS: Black carbon; Emissions; Schools; Exposure.

INTRODUÇÃO

A combustão incompleta de combustíveis fósseis, carvão e biomassa emite um dos principais componentes do material particulado (MP): o *black carbon* (BC). As partículas de BC quando presentes na atmosfera influenciam as mudanças climáticas e afetam negativamente a saúde humana, com a possibilidade de migrar para os pulmões e transportar compostos tóxicos na sua superfície (BOND *et al.*, 2013).

A exposição a longo prazo de crianças a essas partículas pode acarretar em níveis reduzidos de função pulmonar, doenças respiratórias (SUGLIA *et al.*, 2008), acidentes vasculares cerebrais crônicos, efeitos neuropsicológicos e comportamentais, entre outros efeitos cardiovasculares (SUNYER *et al.*, 2017).

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: camilacouto@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 9099196917013916.

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: admirtargino@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7083070072533814.



Em razão disso, as concentrações de poluentes atmosféricos em ambientes escolares tornaram-se uma preocupação mundial. Isso é particularmente relevante para crianças entre 5 a 12 anos, já que passam a maior parte do dia na escola (GUO *et al.*, 2010), as quais estão predominantemente localizadas em áreas urbanas com alta influência de emissões de BC provenientes do tráfego veicular, queima de biomassa e combustão de carvão residencial e industrial (RIVAS *et al.*, 2014).

Estudos que relacionam a exposição de crianças em idade escolar à poluição atmosférica são escassos no Brasil, com destaque para o estudo de Requia *et al.* (2021). Portanto, o objetivo deste estudo é analisar as emissões totais de BC ao redor das escolas no município de Londrina provenientes de um compilado de fontes poluidoras. A partir desses dados, buscou-se estabelecer relações entre as categorias de ensino das escolas localizadas no perímetro urbano com as condições socioeconômicas e o uso do solo. Essas relações permitem uma avaliação do quanto as crianças estão expostas ao BC e como as condições econômicas das regiões do município podem influenciar a exposição.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

O Município de Londrina está localizado na região norte do Estado do Paraná e no sul do Brasil. Em 2020, a população estimada era de 575.377 pessoas, das quais 97% estavam concentradas na região urbana (Prefeitura de Londrina, 2020).

Dados de 345 escolas na área urbana foram obtidos através do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) em relação a 2022 (INEP, 2022).

Foram contabilizadas as emissões de BC por setores fixos (estabelecimentos alimentícios e indústrias) e setores intermitentes (aeroporto, queima de resíduos sólidos e veicular). Informações socioeconômicas (IPTU, população e renda) e uso do solo (lotes vazios, extensão de ruas) foram obtidas por meio de um inventário desenvolvido por Krecl *et al.* (2022) para o ano 2018 na cidade de Londrina.

Foram analisados ao redor das escolas: emissão de BC (kg/ano), influência do número de fontes de BC e das variáveis socioeconômicas. Contabilizaram-se informações de emissões de BC de 23 indústrias, 294 estabelecimentos alimentícios e de focos de queimadas. As emissões pelos estabelecimentos alimentícios (churrascarias, padarias e pizzarias) foram estimadas por meio de uma amostra estaticamente representativa da cidade. O impacto das emissões veiculares foi estimado por meio do *proxy* extensões de ruas (em km) e segmentos de ruas categorizados como avenidas, residenciais e rodovias.

PROCESSAMENTO DOS DADOS

As escolas de ensino médio, profissional, e jovens e adultos englobaram a modalidade “Outros”, e as escolas de ensino infantil, fundamental, e infantil e fundamental formaram as modalidades “Infantil”, “Fundamental e Infantil” e “Fundamental”, respectivamente. As escolas foram identificadas com valores de 1 a 8 (Tabela 1).

Os dados socioeconômicos, emissões de BC e das escolas foram processados no *software* QGIS (<http://qgis.osgeo.org>) por meio das seguintes etapas: (a) delimitação de *buffers* com raio de 500 m ao redor das escolas; (b) integração dos dados socioeconômicos, de emissões de BC e de uso do solo com o auxílio de ferramentas de junção espacial e

complemento, concomitante ao resumo estatístico em relação a cada modalidade e categoria de ensino; (c) cálculo da média dos dados de cada *buffer* em relação a cada categoria, especificamente: i) as emissões de BC ao redor de cada categoria de escola foram expressadas em kg/ano e representadas em *boxplots*; ii) as influências socioeconômicas e das fontes nas emissões de BC foram representadas por tendências médias.

Tabela 1 – Escolas contabilizadas de acordo com a modalidade e categoria de ensino.

Identificação	Modalidade e Categoria	Identificação	Modalidade e Categoria
1	Infantil Pública	5	Outros Pública
2	Infantil e Fundamental Pública	6	Fundamental Privada
3	Infantil Privada	7	Infantil e Fundamental Privada
4	Fundamental Pública	8	Outros Privada

Fonte: Autoria própria (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

EMISSÃO DE BC DE ACORDO COM A CATEGORIA DE ESCOLA

A contribuição média de cada fonte de BC por categoria de ensino e por combinação de todas as categorias é destacada na Tabela 2. Os veículos contribuem com mais de 80% nas emissões de BC em todas as categorias, seguido das pizzarias (com exceção da categoria 1, que é influenciada em segundo lugar pela queima de resíduos sólidos). Nem todas as categorias possuem contribuição do aeroporto e indústrias (categorias 1 e 5) ou somente do aeroporto (categorias 7 e 8). Além disso, as padarias, churrascarias e o aeroporto não influenciam nem em 3% na forma individual e combinada.

Tabela 2 – Contribuição média por fonte de emissão de BC de cada categoria de ensino e contribuição média combinada por fonte em %.

Categorias	Padaria	Aeroporto	Churrascaria	Indústria	Queima de Resíduos Sólidos	Pizzaria	Veicular
1	0,01	0	0,26	0	3,57	1,60	94,55
2	0,01	0,69	0,58	2,87	3,13	6,21	86,51
3	0,01	0,39	1,15	1,25	2,71	8,68	85,81
4	0,01	0,62	0,57	4,57	2,63	5,36	86,24
5	0,01	0	1,41	0	1,93	10,05	86,60
6	0,01	2,30	0,49	0,63	2,39	8,93	85,25
7	0,01	0	1,37	1,51	1,79	7,62	87,70
8	0,02	0	0,82	3,12	1,75	9,59	84,70
Combinadas	0,01	0,50	0,83	1,74	2,49	7,26	87,17

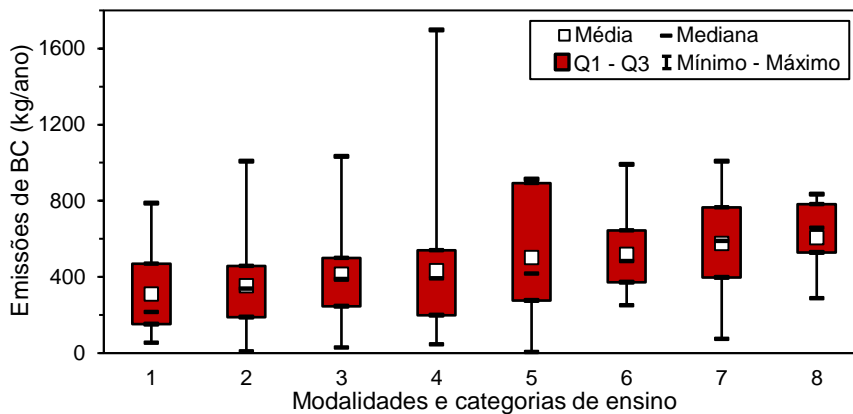
Fonte: Autoria própria (2023).

As categorias 1 e 8 estão inseridas em áreas de menor e maior emissão média de BC ($310,0 \pm 187,4$ kg/ano e $606,3 \pm 158,5$ kg/ano, respectivamente), como mostrado pelas estatísticas da Figura 1, em ordem crescente de mediana. Esse resultado pode ser devido ao fato da modalidade 1 estar localizada em regiões da cidade com menos veículos e

pizzarias, e nenhuma indústria, enquanto a modalidade 8 em regiões com mais veículos, pizzarias e indústrias.

A categoria 4 apresentou a maior exposição (percentil 95 de 1696,3 kg/ano) devido ao fato de algumas escolas estarem próximas a indústrias que emitem 1,1 ton/ano de BC.

Figura 1 – Emissões de BC ao redor de escolas, segmentadas por modalidade e categoria de ensino.



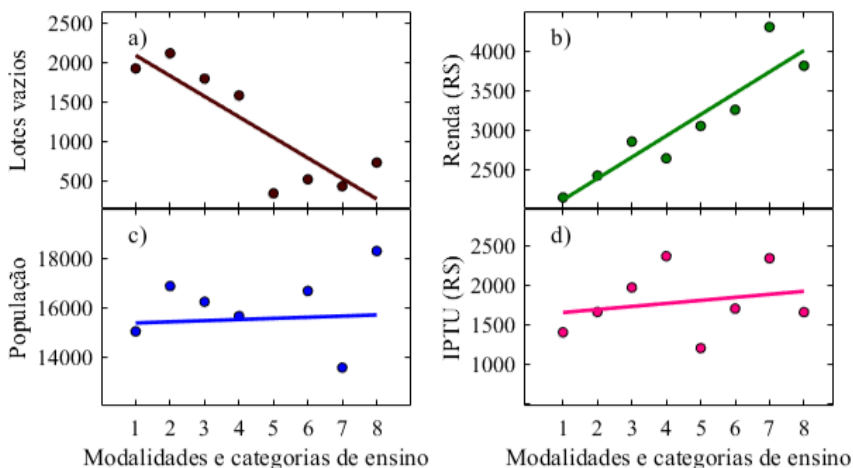
Fonte: Autoria própria (2023).

INFLUÊNCIA DOS FATORES SOCIOECONÔMICOS NAS EXPOSIÇÕES DE ESCOLAS

A Figura 2 mostra relações entre os fatores socioeconômicos médios e categorias de ensino. Nota-se que o número de lotes vazios (Fig. 2a) diminui entre as modalidades 1 e 8, enquanto a média de renda (Fig. 2b) aumenta. Além disso, as categorias públicas 1 e 2 —que obtiveram as maiores contribuições de emissões por meio da queima de resíduos sólidos (Tabela 2)— estão localizadas em regiões de baixa renda e alta quantidade de lotes vazios (Figs. 2a, b), evidenciando a influência dos lotes vazios na queima de resíduos sólidos.

Por outro lado, a população e o IPTU não apresentaram tendências claras (Figs. 2c, d); portanto, podem não ter relação com a quantidade de BC emitida.

Figura 2 – Média de lotes vazios (a), renda (b), população (c) e IPTU (d) por modalidade e categoria de ensino.



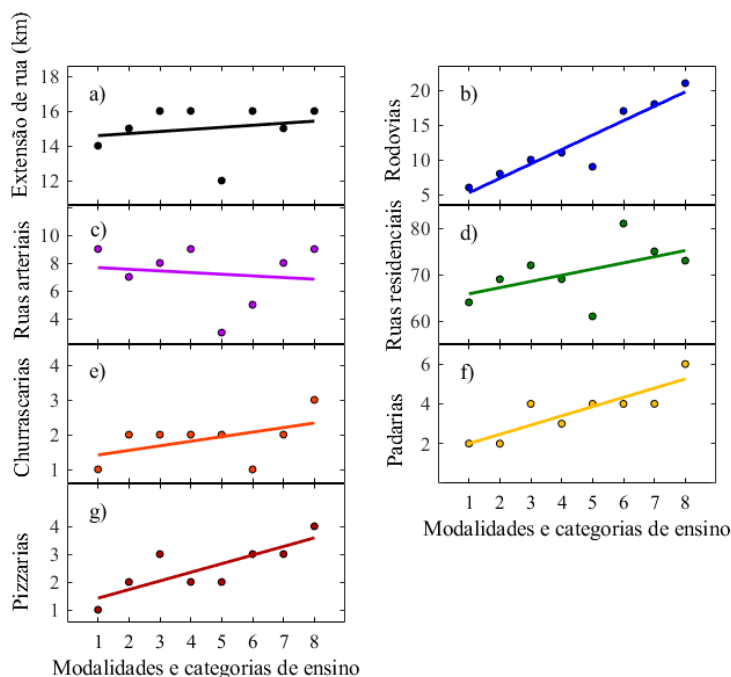
Fonte: Autoria própria (2023).

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES FONTES NAS EMISSÕES DE BC

As categorias de escolas privadas são mais afetadas pelas emissões de BC em relação às categorias públicas (Fig. 1), o que é explicado pela maior distribuição de escolas privadas em regiões com prevalência de fontes que mais emitem BC —como as rodovias e as pizzarias (Tabela 2) — e pela tendência positiva de um maior número de churrascarias, padarias, pizzarias, rodovias e ruas residenciais ao redor das categorias que são mais afetadas pelo BC (Figura 3). Especificamente, as escolas da categoria 8, que possuíam uma maior prevalência das fontes citadas acima (Fig. 3b, d, e, f, g). Uma exceção é a modalidade 5, que apresentou resultados médios não significativos, devido a poucas escolas representarem essa categoria.

A extensão de rua (km) e as ruas arteriais (Fig. 3a, c), aeroporto e indústrias não apresentaram uma influência clara por conta de: i) nem todas as categorias terem proximidade em 500 m com as indústrias e o aeroporto; ii) todas as modalidades terem proximidade com as ruas arteriais; iii) e as rodovias terem um menor comprimento em relação às ruas arteriais, o que resulta em extensões de ruas similares.

Figura 3 – Média de extensão de rua (km) (a), rodovias (b), ruas arteriais (c), ruas residenciais (d), churrascarias (e), padarias (f) e pizzarias (g) por modalidade e categoria de ensino.



Fonte: Autoria própria (2023).

CONCLUSÕES

A menor e a maior emissão média de BC foram das categorias de ensino infantil pública e outros privada ($310,0 \pm 187,4$ kg/ano e $606,3 \pm 158,5$ kg/ano, respectivamente). As escolas privadas estão dentro de regiões com maior número de rodovias e pizzarias — fontes que mais contribuíram para a concentração anual de BC— em relação às escolas públicas e, portanto, os alunos desses estabelecimentos podem estar mais expostos ao BC. Do ponto de vista da influência de variáveis socioeconômicas, observou-se que escolas



em regiões de maiores rendas e menor número de lotes vazios estão sujeitas a maior exposição de BC.

Agradecimentos

A Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica, à Prof^a Dr^a Patricia Krecl pelos dados disponibilizados e ao Gabriel Oukawa pela assistência no uso de várias ferramentas de tratamento de dados.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

BOND, T. C. *et al.* Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5380–5552, jun. 2013.

GUO, H. *et al.* Characterization of particle number concentrations and PM_{2.5} in a school: Influence of outdoor air pollution on indoor air. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, n. 6, p. 1268–1278, mar. 2010.

INEP. **Catálogo de escolas**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/catalogo-de-escolas>>. Acesso em: 9 set. 2022.

KRECL, P. *et al.* Compilation of a city-scale black carbon emission inventory: Challenges in developing countries based on a case study in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 839, 2022.

Prefeitura de Londrina. **Londrina em dados 2020 (ano base 2019)**. Disponível em: <<https://portal.londrina.pr.gov.br/londrina-em-dados-2020-ano-base-2019>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

REQUIA, W. J. *et al.* Schools exposure to air pollution sources in Brazil: A nationwide assessment of more than 180 thousand schools. **Science of the Total Environment**, v. 763, abr. 2021.

RIVAS, I. *et al.* Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. **Environment International**, v. 69, p. 200–212, ago. 2014.

SUGLIA, S. F. *et al.* Association between traffic-related black carbon exposure and lung function among urban women. **Environmental Health Perspectives**, v. 116, n. 10, p. 1333–1337, out. 2008.

SUNYER, J. *et al.* Traffic-related Air Pollution and Attention in Primary School Children. **Epidemiology**, v. 28, n. 2, p. 181–189, mar. 2017.